



Flood Risk Assessment Using Geographic Information Systems: A Novel Approach to Crisis Management (Case Study: Villages of Neyshabur County)

Seyed Hadi Tayebnia^{1*}, Iman Shahnavaizi²

1. Associate Professor of Geography and Rural Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2. Master's Student, Department of Geography and Rural Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

*Corresponding author, Email: tayebnia@gep.usb.ac.ir

Keywords:

Flood, Geographic Information Systems (GIS), Gradient Boosting, Hazard Zoning, Neyshabur County.

1. Introduction

Hydro-meteorological hazards, particularly floods, constitute a profound threat to rural environments, disproportionately affecting agricultural livelihoods, infrastructure, and human life. In the context of disaster risk reduction (DRR) and rural spatial planning, accurate flood susceptibility mapping is an imperative prerequisite for mitigating vulnerabilities. Neyshabur County, characterized by a complex topographic configuration and intricate hydrological networks, frequently experiences catastrophic inundations. Despite the escalating frequency of extreme precipitation events driven by climate variability, micro-level hazard zoning for the county's rural settlements remains critically underdeveloped. Consequently, existing crisis management frameworks lack the granular spatial intelligence required for proactive intervention. To bridge this epistemological and operational gap, this study introduces a robust methodological framework integrating Geographic Information Systems (GIS) with advanced ensemble machine learning—specifically the Gradient Boosting (GB) algorithm. By localizing multi-criteria evaluation metrics to the geomorphological realities of Neyshabur, this research aims to precisely delineate flood-prone rural territories, thereby providing empirical foundations for sustainable rural planning, spatial resilience, and strategic crisis management.

2. Methodology

This research adopts an applied, descriptive-analytical paradigm, synthesizing extensive documentary, geospatial, and empirical field data. The methodological architecture is predicated on evaluating spatial vulnerability across rural settlements using seven geo-environmental and hydrological indicators: elevation, slope, aspect, precipitation distribution, proximity to waterways, geological formations, and land-use typologies. High-resolution spatial datasets were procured from diverse authoritative sources, including Digital Elevation Models (DEM) derived from ALOS PALSAR, multispectral satellite imagery from Sentinel-2, empirical data from regional meteorological stations, and standard geological maps. To model flood susceptibility, the Gradient Boosting algorithm was selected due to its exceptional predictive accuracy in handling non-linear, multi-dimensional spatial datasets. The computational workflow commenced with rigorous data normalization, followed by partitioning the dataset into a 70% training subset and a 30% validation subset. Hyperparameter optimization was systematically executed utilizing a Grid Search cross-validation technique to maximize model generalization. The predictive efficacy and robust classification

Received:

01/Jun/2025

Revised:

18/Aug/2025

Accepted:

14/Dec/2025



capabilities of the algorithm were empirically evaluated using standardized metrics, including Precision, Recall, Cohen's Kappa coefficient, and Root Mean Square Error (RMSE). Furthermore, a Feature Importance analysis was embedded within the model to quantify the hierarchical influence of the localized independent variables on flood occurrence.

3. Findings

The spatial application of the Gradient Boosting model yielded highly precise flood hazard zonations across the study area. Predictive performance metrics validated the model's exceptional reliability, registering a Kappa coefficient of 0.91 and an RMSE of 0.19. The vulnerability assessment of rural settlements revealed alarming exposure levels: out of the analyzed settlements, 80 villages (comprising 20% of the total) are situated in "critical" hazard zones, while an additional 140 villages (35%) are located in "high-risk" zones. Consequently, a staggering 55% of the rural settlements in Neyshabur County are critically exposed to severe flood threats. Spatial correlations extracted from the model demonstrated that settlements situated within a <200 meter radius of primary waterways historically sustained the most devastating structural and economic damages due to rapid inundation. The Feature Importance analysis elucidated that topographical attributes (specifically elevation and slope) and precipitation intensity are the primary causative drivers of flood susceptibility. Anthropogenic land-use configurations and proximity to the hydrological network ranked as the most significant secondary determinants, highlighting the detrimental impact of unregulated rural encroachment into natural floodplains.

4. Discussion and Conclusion

The findings of this study unequivocally demonstrate that the convergence of topographical predisposition and unsustainable land-use practices has drastically amplified flood risks in the rural landscapes of Neyshabur County. The hybrid GIS and Gradient Boosting approach proved highly efficacious in identifying spatial vulnerabilities, offering a paradigm shift from reactive to proactive disaster management. The concentration of 55% of rural settlements in high to critical hazard zones necessitates immediate recalibration of regional rural planning policies. From a spatial planning perspective, it is evident that historical expansion patterns have severely encroached upon riparian buffer zones. To foster systemic resilience, it is strongly recommended that a statutory, non-negotiable safety buffer of at least 500 meters from major rivers and ephemeral waterways be institutionalized for all future rural development, infrastructure provisioning, and post-disaster reconstruction efforts. Furthermore, policymakers must prioritize the 80 critical-class villages for immediate structural interventions, including the construction of hydrological retention systems, ecological restoration of upstream watersheds, and the implementation of community-based early warning systems. Ultimately, integrating localized machine learning predictions into municipal master plans will empower rural planners to optimize land-use allocation, mitigate environmental hazards, and safeguard the socio-economic fabric of vulnerable rural communities.

How to cite this article:

Tayebnia, S.H., & Shahnnavazi, I. (2026) Flood Risk Assessment Using Geographic Information Systems: A Novel Approach to Crisis Management (Case Study: Villages of Neyshabur County). *Village and Space Sustainable Development*, 7(1), 145-166. <https://doi.org/10.22077/vssd.2025.9526.1317>





فصلنامه روستا و توسعه پایدار فضا

دوره ۷، شماره ۱، پیاپی ۲۵، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۱۴۵-۱۶۶

<https://doi.org/10.22077/vssd.2025.9526.1317>

ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی رویکردی نوین در مدیریت بحران (مورد مطالعه: روستاهای شهرستان نیشابور)

سیدهادی طیب‌نیا^{۱*}، ایمان شهنوازی^۲

۱. دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: Tayebnia@gep.usb.ac.ir

چکیده

سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی، سالانه خسارات جانی و مالی قابل توجهی به ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان نیشابور وارد می‌کند. این شهرستان به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، توپوگرافی متنوع و تغییرات کاربری اراضی، همواره در معرض خطر سیلاب‌های ویرانگر قرار داشته است. این پژوهش با هدف ارزیابی خطر سیلاب در سطح روستاهای منطقه، از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوریتم گرادیان بوستینگ استفاده کرده است. داده‌های مورد بررسی شامل هفت شاخص اصلی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی و کاربری اراضی) بودند که از منابع مختلفی همچون مدل رقمی ارتفاع (DEM)، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی استخراج شدند. نتایج نشان داد که عوامل توپوگرافی (با ۷۷ درصد اهمیت) و بارش (۶۱ درصد) بیشترین تأثیر را در مدل پیش‌بینی خطر سیلاب در میان روستاها داشته‌اند. همچنین، پهنه‌بندی خطر سیلاب در پنج کلاس انجام شد که حدود ۲۰ درصد از روستاهای شهرستان (۸۰ روستا) در کلاس خطر "بحرانی" قرار گرفتند. این روستاها عمدتاً در ارتفاعات کم، نزدیک به آبراهه‌ها و با پوشش گیاهی ضعیف واقع شده‌اند. ارزیابی عملکرد مدل نیز با معیارهای ضریب کاپا ۰/۹۱ و خطای مربعات ۰/۱۹ نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی روستاهای پرخطر بود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران کمک کند تا با شناسایی ۲۲۰ روستای واقع در کلاس‌های بحرانی و پرخطر، تدوین برنامه‌های کاهش ریسک و مدیریت بهینه کاربری اراضی، خسارات ناشی از سیلاب را به حداقل برسانند. این پژوهش همچنین اثربخشی روش‌های ترکیبی یادگیری ماشین و GIS را در ارزیابی مخاطرات طبیعی در سطح روستاهای شهرستان نیشابور نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی:

سیلاب، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، گرادیان بوستینگ، پهنه‌بندی خطر، نیشابور

تاریخ ارسال:

۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۹/۲۳

۱- مقدمه

وقوع مخاطرات طبیعی منجر به بروز تغییرات در شرایط زیست محیطی می‌شود (خالدی و همکاران، ۱۴۰۰، ۱۷)، که این نیز به نوبه خود به گسسته شدن روند زندگی عادی مردم و بروز تأثیرات مخرب بر سکونتگاه‌های آنها می‌انجامد و خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی و محیطی گسترده‌ای را بر جوامع تحمیل می‌کند (عزومی و نوری، ۱۳۹۶، ۷۹). بر همین اساس برطرف کردن آن برخلاف وضعیت اضطراری، نیازمند بسیج منابع، به‌کارگیری ظرفیت‌ها و امکاناتی بسیار بیش از حد معمول است. بخش عمده مخاطرات طبیعی مرتبط با فرایندهای ژئومورفولوژیکی ناشی از خطرات ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اتمسفری است (مختاری، ۱۳۸۵، ۵۶). یکی از بزرگ‌ترین و رایج‌ترین اشکال مخاطرات طبیعی سیلاب است و شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، از اقدامات اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای محسوب می‌گردد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲، ۱۱۵). بر اساس آمارها سیلاب‌ها ۴۰ درصد بلایایی طبیعی جهان را به خود اختصاص داده‌اند (فنگ و لو^۱، ۲۰۱۰، ۲۹۷۶) بر اساس آمار سازمان ملل در حدود ۲/۳ میلیارد نفر در جهان تحت‌تأثیر آثار ناشی از آن هستند (اقلیم سازمان ملل^۲، ۲۰۱۵). سیل به‌عنوان شایع‌ترین بلای طبیعی در سراسر جهان در سال‌های اخیر در نظر گرفته شده است. تهیه نقشه‌های پتانسیل خطر سیل برای مدیریت و کاهش خطر سیل لازم و ضروری است (زارعی و کشاورز، ۱۴۰۳، ۴۷).

در ایران نیز، سیلاب‌های اخیر نشان داد که ۸۰ درصد از شهرهای کشور در معرض خطر سیلاب قرار دارند. روستاهای شهرستان نیشابور به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و شرایط توپوگرافیکی، همواره در معرض خطر سیلاب‌های ویرانگر قرار داشته است. این روستاهای شهرستان به دلیل، قرارگیری در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های بینالود، وجود مسیل‌های متعدد با ظرفیت انتقال سیلاب بالا و توسعه شهری بدون ملاحظات هیدرولوژیکی، که به یکی از مناطق پرخطر کشور از نظر وقوع سیلاب‌های مخرب تبدیل شده است. سیلاب سال ۱۳۹۷ این شهرستان که منجر به تخریب ۲۰۰ واحد مسکونی و آسیب به شبکه آبرسانی شهری شد، گواهی بر این ادعاست. همچنین وجود بافت تاریخی و تراکم جمعیتی بالا در برخی مناطق، اهمیت این مطالعه را دوچندان می‌کند.

لذا سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی، امکان شناسایی مناطق پرخطر و برنامه‌ریزی مؤثر را فراهم می‌آورد. تلفیق این سیستم با داده‌های میدانی، تحولی در مدیریت ریسک سیلاب ایجاد کرده است. این پژوهش با هدف تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب و شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر آسیب‌پذیری مناطق مختلف روستاهای شهرستان نیشابور انجام شد. در این مطالعه از تلفیق روش‌های تحلیل چندمعیاره فضایی در محیط GIS و داده‌های میدانی استفاده شده است. این رویکرد امکان ارزیابی جامع عوامل طبیعی و انسانی مؤثر بر خطر سیلاب را فراهم می‌آورد. تهیه نقشه‌های خطر با دقت مکانی بالا و توجه هم‌زمان به معیارهای هیدرولوژیکی، توپوگرافیکی و انسانی، این مطالعه را از تحقیقات مشابه متمایز می‌سازد. استفاده از آخرین داده‌های ماهواره‌ای نیز بر غنای آن افزوده است. ضرورت انجام این تحقیق از چند منظر حائز اهمیت است. از یک سو، تغییرات اقلیمی و افزایش بارش‌های سیل‌آسا در سال‌های اخیر، احتمال وقوع سیلاب‌های شدیدتر را در آینده افزایش داده است؛ از سوی دیگر، توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی بدون در نظر گرفتن ملاحظات سیل‌خیزی، خطرپذیری منطقه را تشدید کرده است. این در حالی است که تاکنون مطالعه جامعی برای ارزیابی دقیق خطر سیلاب در سطح روستاهای شهرستان نیشابور انجام نشده است. این مقاله پس از بیان مقدمه، به بررسی روش‌شناسی تحقیق پرداخته، سپس یافته‌های مربوط به پهنه‌بندی خطر سیلاب را ارائه می‌دهد. در نهایت، راهکارهای مدیریتی مبتنی بر یافته‌های تحقیق مورد بحث قرار خواهند گرفت.

¹ Feng & Lu

² United Nations Climate

۲- بیان نظریه‌ای

سیلاب به‌عنوان یک مخاطره طبیعی پیچیده، به جریان سریع و ویرانگر آب تعریف می‌شود که به طور ناگهانی رخ می‌دهد و منجر به خسارات شدید مالی، تلفات انسانی و فرسایش می‌گردد (ریانت^۱ و همکاران، ۲۰۱۸، ۸۴۷، فرهان و آید^۲، ۲۰۱۷، ۷۱۸). این پدیده حاصل تعامل دو گروه عامل است: پارامترهای متغیر هواشناسی و پارامترهای ثابت ژئو مورفولوژیک و زمین‌شناسی (یوسف^۳ و همکاران، ۲۰۱۱، ۶۱۵). سیل رایج‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود (دوسی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳، ۲). که با رشد جمعیت، تغییر کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی، فراوانی و شدت آن در سراسر جهان افزایش یافته است (پاساسیو^۵ و همکاران، ۲۰۱۸، ۱۸۱، آهرن^۶ و همکاران، ۳۷). کشورهای آسیایی، از جمله ایران، به دلیل عوامل طبیعی و انسانی، از مناطق بسیار آسیب‌پذیر در برابر سیل هستند (اسمیت^۷، ۲۰۱۳، ۱، جهانگیر^۸ و همکاران، ۲۰۱۹، ۱).

مخاطرات طبیعی مانند سیل، از طریق تخریب زیرساخت‌ها، دارایی‌ها و اختلال در عملکردهای جامعه، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم گسترده‌ای بر جوامع می‌گذارند که در سه حوزه اقتصادی، اجتماعی و محیطی قابل دسته‌بندی است (دی اف آی دی^۹، ۲۰۰۵). این تأثیرات، روند توسعه را با انحراف از مسیر اصلی خود مواجه می‌سازد (آدرک^{۱۰}، ۲۰۰۵، ۸). درک آسیب‌پذیری جامعه در برابر این مخاطرات، مستلزم توجه به عوامل گسترده‌ای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و نهادی است که زندگی مردم را شکل می‌دهند (تریم^{۱۱}، ۲۰۰۴، ۲۲۱). مفهوم ظرفیت‌سازی به‌عنوان فرایندی برای تقویت توانایی‌ها و منابع جامعه، راهبردی کلیدی برای کاهش آسیب‌پذیری معرفی شده است (برنامه توسعه ملل متحد^{۱۲}، ۲۰۰۷، و فتر کاهش خطر بلایا سازمان ملل متحد^{۱۳}، ۱۹۹۷). مدیریت چرخه مخاطرات (شامل مراحل قبل، حین و بعد از حادثه) با رویکردی برنامه‌ریزی‌شده و با تکیه بر ظرفیت و دانش محلی، می‌تواند آثار مخاطرات را کاهش دهد (فریمن^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۲، ۳۳؛ دیویس^{۱۵}، ۲۰۰۸، ۱).

در بررسی دیدگاه‌های نظری مرتبط با مخاطرات، سه انگاره اصلی قابل تمایز است (یامین^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۵، ۶): دیدگاه زیست‌محیطی-فیزیکی (فن‌محور): این دیدگاه که بر طیف گسترده‌ای از قرن بیستم حاکم بود، بر ماهیت فیزیکی خطر و آسیب‌پذیری ناشی از قرارگیری در معرض آن تأکید دارد. راهبردهای آن عمدتاً فنی و مهندسی و مبتنی بر کنترل طبیعت است (تروندهیم^{۱۷}، ۲۰۰۲، ۵۷، بوغتون^{۱۸}، ۱۹۹۸، ۶۹). انتقاد اصلی به این دیدگاه، غفلت از عوامل اجتماعی-اقتصادی ریشه‌دار در آسیب‌پذیری است (برندلی^{۱۹}، ۲۰۰۲، ۲۹).

¹ Rinat

² Farhan & Ayed

³ Youssef

⁴ Doocy

⁵ Pascacio

⁶ Ahern

⁷ Smith

⁸ Jahangir

⁹ DFID

¹⁰ ADRC

¹¹ Trim

¹² UNDP

¹³ UN/ISDR

¹⁴ Freeman

¹⁵ Davis

¹⁶ Yamin

¹⁷ Trondheim

¹⁸ Boughton

¹⁹ Brendle

دیدگاه ساخت اجتماعی: این دیدگاه آسیب‌پذیری را ریشه‌دار در فرایندهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و تاریخی (مانند فقر، نابرابری و سیاست‌های نهادی) می‌داند، نه صرفاً در ماهیت فیزیکی خطر (هیویت^۱، ۱۹۹۷، ۳۶). این دیدگاه که در قالب‌هایی چون بوم‌شناسی سیاسی تحلیل می‌شود، کاهش آسیب‌پذیری را در گرو پرداختن به این علل ریشه‌ای ساختاری می‌داند (وینسر^۲، ۲۰۰۵، ۱۳).

دیدگاه ترکیبی (یکپارچه و پایداری): این دیدگاه در تلاش است تا با یکپارچه‌سازی نقاط قوت دو دیدگاه پیشین، تحلیلی جامع‌تر ارائه دهد. در این چارچوب، آسیب‌پذیری محصول تعامل پویا بین سیستم‌های انسانی و زیست‌فیزیکی در مقیاس‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود (تورنر^۳ و همکاران، ۲۰۰۳، ۸۰). این نگاه «سیستم‌های زوجی انسانی-محیطی» را کانون تحلیل قرار می‌دهد و بر پایداری این سیستم‌ها تأکید می‌ورزد (جسامی^۴، ۲۰۰۲، ۲۰).

در رابطه با موضوع تحقیق حاضر، تحقیقاتی در داخل و خارج از ایران به انجام رسیده است که در اینجا به چند مورد از آنها اشاره می‌گردد: رضایی‌مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۳)، در پژوهشی به ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز آجی چای، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند ارزیابی دقت مدل بر اساس منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که دقت مدل از نظر داده‌های آموزشی با ضریب ۰/۸۹۸ از عملکرد خوبی برخوردار بوده است. حجازی و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهشی به بررسی و پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز شهری با استفاده از مدل‌های فازی ویکور و روش خطی وزنی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایذه خوزستان)، پرداخته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که عامل بارش، ارتفاع و شیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه مورد مطالعه دارند و مناطق شرق و جنوب شرق بیشترین پتانسیل سیل خیزی را دارا هستند، همچنین بر اساس مدل‌های VEKOR و WLC به ترتیب ۱۶ و ۱۳/۸۰ درصد از منطقه در طبقه با خطر بسیار بالا قرار دارد. مرکز تحقیقات آب و محیط زیست نیشابور (۱۴۰۳)، در گزارش جامع خود، داده‌های میدانی سیلاب‌های اخیر این شهرستان را تحلیل و راهکارهای عملی برای کاهش خسارات ناشی از سیل ارائه کرده است. این گزارش بر لزوم توجه به برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر ملاحظات هیدرولوژیکی تأکید دارد. زارعی و کشاورز (۱۴۰۳)، در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق خشک با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY در شهرستان دشتی، پرداخته‌اند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب نشان می‌دهد که شهرستان دشتی از لحاظ آسیب‌پذیری به پنج طبقه تقسیم می‌شود که ۶/۵ درصد از منطقه در محدوده خطر بسیار بالا و ۲۷/۹ درصد از منطقه در محدوده خطر بالا قرار دارد. نقشه‌های نهایی نشان می‌دهد که بیشترین پتانسیل خطر سیل مربوط به شهرهای خورموج، سنا و شنبه است. تلفیق روش AHP-FUZZY قابلیت بالایی در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل دارد؛ لذا آگاهی از پتانسیل سیل خیزی منطقه می‌تواند در هنگام رخداد سیلاب در جهت تدوین برنامه‌های مدیریت سیلاب مؤثر واقع شود. حساس و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به ارائه یک مدل ساده برای تعیین مناطق در خطر سیل، پرداخته‌اند. در این پژوهش ابتدا برای نمونه ابتدا مراحل آزمایش نرم‌افزار بر روی رودخانه خشک شیراز که به دریاچه مهارلو می‌ریزد مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج رضایت‌بخش بود. پس از آن اقدام به بررسی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ در رودخانه شهر آیوتایا در کشور تایلند گردید. بررسی تصویر ماهواره‌ای این سیل در کنار بررسی نقشه‌های توپوگرافی مسیر عبور رودخانه حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ متر مکعب بر ثانیه بود که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه ثبت شده از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف داشت. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیر محاسبه شده در مقایسه با مساحت متأثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ کمتر

¹ Hewitt

² Wisner

³ Turner

⁴ Jessamy

است. همچنین سیل فروردین ۱۳۹۸ شیراز نیز شبیه‌سازی شد که باز گزارش هیئت ویژه بررسی سیلاب‌ها تطابق خوبی داشت. ایان^۱ (۲۰۲۱)، در پژوهشی به مدل‌سازی سیل رودخانه‌ای با استفاده از سنجش‌ازدور در برزیل پرداخته است. نتایج مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از رودخانه، توپوگرافی و بارش بیشترین تأثیر را در وقوع سیل در برزیل دارند. سومیا و همکاران^۲ (۲۰۱۵)، در مقاله‌ای با عنوان پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیل شهری در ساحل جنوب غربی هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی از طریق استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با بهره‌گیری از تصاویر سنجش‌ازدور به این نتیجه دست یافتند که در میان مناطق آسیب‌پذیر، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا جمعاً ۴/۶ درصد از مساحت کل شهر را تشکیل داده‌اند. تهرانی و همکاران^۳ (۲۰۱۴) در استرالیا تأثیر عوامل انسانی مانند تراکم جمعیت و ساخت‌وسازهای نامناسب را در افزایش آسیب‌پذیری سیل بررسی کردند و راهکارهای کاهش ریسک را ارائه دادند. این مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب GIS با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، می‌تواند ابزاری قدرتمند برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل باشد.

باتوجه‌به پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی اشاره‌شده، جنبه نوآوری تحقیق حاضر در تلفیق رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با مدیریت بحران به طور خاص و کاربردی در سطح روستاهای شهرستان نیشابور به‌عنوان یک مطالعه موردی متمایز، و همچنین در اولویت‌بندی و ترکیب معیارهای مؤثر محلی در ارزیابی خطر سیلاب نهفته است. درحالی‌که مطالعات پیشین عمدتاً بر پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه‌های آبریز بزرگ (مانند آجی‌چای، ایذه، دشتی) یا مناطق دیگر جهان تمرکز داشته‌اند و از مدل‌هایی مانند فازی، ویکور، یا شبیه‌سازی هیدرولوژیکی استفاده کرده‌اند، تحقیق حاضر با تمرکز بر روستاهای شهرستان نیشابور به‌عنوان یک منطقه با ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی و انسانی خاص، و با هدف مستقیم کاربرد نتایج در مدیریت بحران این منطقه، رویکردی نوین محسوب می‌شود. این مطالعه با در نظر گرفتن داده‌های میدانی و گزارش‌های محلی نیشابور و ادغام آن با قابلیت‌های تحلیلی، می‌کوشد مدلی منطقه محور و عملیاتی برای کاهش خسارات ارائه دهد که علاوه بر برخورداری از پشتوانه علمی روش‌های ترکیبی، مستقیماً پاسخگوی نیازهای مدیریت بحران در این روستاهای شهرستان باشد؛ بنابراین، تازگی این کار نه‌تنها در انتخاب مورد مطالعه و تأکید بر جنبه کاربردی در مدیریت بحران، بلکه در سازگاری و بومی‌سازی معیارهای ارزیابی خطر با شرایط خاص نیشابور و یکپارچه‌سازی آن در یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری جغرافیایی است.

۳- روش، تکنیک‌ها و قلمرو

این تحقیق به لحاظ هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی است. گردآوری داده‌ها، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (اسنادی) و میدانی (مکانی) است. داده‌های این پژوهش شامل ۷ شاخص اصلی (جدول ۱) است که از منابع مختلفی همچون مدل رقومی ارتفاع (DEM)، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی و نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شده‌اند. این لایه‌ها در محیط GIS پیش‌پردازش و به فرمت مناسب برای تحلیل در الگوریتم Gradient Boosting تبدیل شده‌اند.

1 - Ayan et al

2 - Sowmya et al

3 - Tehrani et al

جدول ۱- شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه

منبع داده	شاخص	ردیف
DEM (ALOS PALSAR)	ارتفاع	۱
مشتق‌گیری از DEM	شیب	۲
مشتق‌گیری از DEM	جهت شیب	۳
ایستگاه‌های هواشناسی	بارش	۴
محاسبه در GIS	فاصله از آبراهه	۵
سازمان زمین‌شناسی کشور	زمین‌شناسی	۶
تصاویر Sentinel-2	کاربری اراضی	۷

الگوریتم Gradient Boosting در تحلیل خطر سیلاب

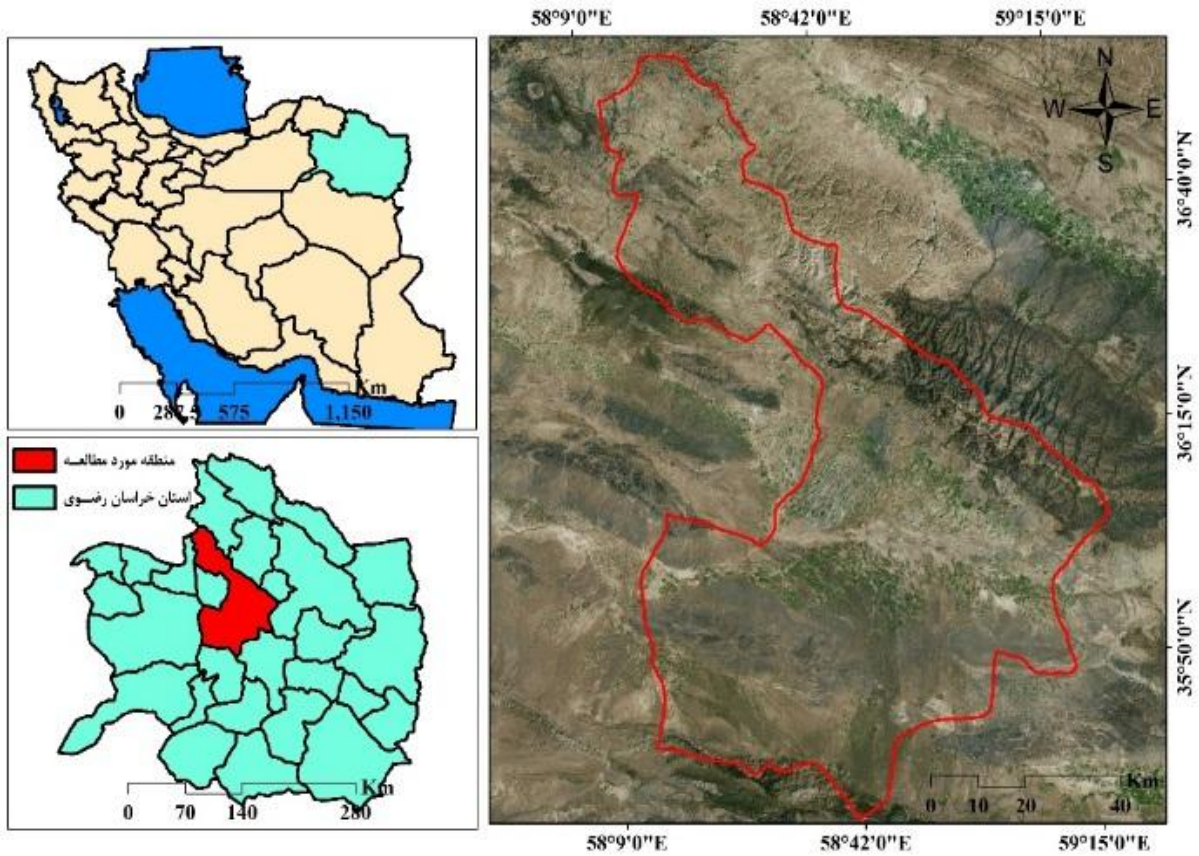
الگوریتم Gradient Boosting یکی از روش‌های قدرتمند یادگیری ماشین تحت نظارت است که بر پایه ترکیب بهینه درخت‌های تصمیم ضعیف عمل می‌کند. این الگوریتم با استفاده از مکانیسم Boosting، به صورت تدریجی خطاهای مدل‌های قبلی را اصلاح می‌کند و در نهایت به یک مدل پیش‌بینی‌کننده قوی دست می‌یابد. مزیت اصلی این الگوریتم در تحلیل خطر سیلاب، مقاومت آن در برابر داده‌های پرت و توانایی کار با مجموعه داده‌های ناهمگون است که این ویژگی‌ها آن را به ابزاری ایده‌آل برای مطالعات ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی تبدیل کرده است. در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب، Gradient Boosting با تحلیل هم‌زمان شاخص‌های توپوگرافی، هیدرولوژیکی و انسانی، قادر است الگوهای پیچیده سیل‌خیزی را بادقت بالایی شناسایی کند. یکی از قابلیت‌های کلیدی این روش، امکان محاسبه اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌های مؤثر (Feature Importance) است که به پژوهشگران کمک می‌کند تا درک بهتری از عوامل اصلی کنترل‌کننده سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه به دست آورند. این ویژگی به‌ویژه در مطالعات شهری مانند پژوهش حاضر که ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی در ایجاد خطر سیلاب نقش دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مراحل اجرای الگوریتم Gradient Boosting

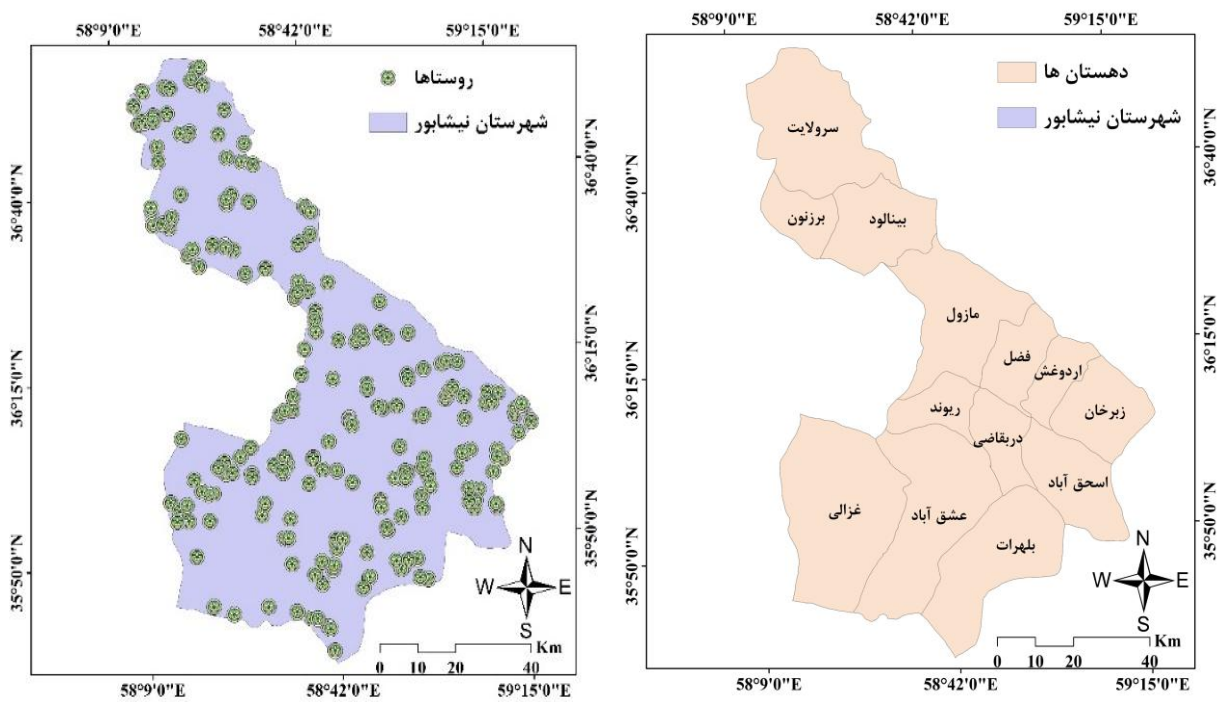
آماده‌سازی داده‌ها: نرمال‌سازی داده‌ها برای حذف اثر مقیاس و تقسیم داده‌ها به دو بخش آموزش (۷۰٪) و اعتبارسنجی (۳۰٪). پیاده‌سازی مدل: استفاده از کتابخانه‌های Scikit-learn در پایتون و تنظیم پارامترهای کلیدی مانند learning_rate، max_depth و n_estimators با روش Grid Search. ارزیابی مدل: محاسبه معیارهای دقت شامل ROC-AUC، Precision و Recall. و تهیه نقشه‌های خطر سیلاب بر اساس خروجی مدل

تحلیل حساسیت: تعیین اهمیت هر شاخص با استفاده از Feature Importance

شهرستان نیشابور با مساحتی حدود ۹,۳۰۰ کیلومترمربع، در شمال شرق ایران و در استان خراسان رضوی واقع شده است. این شهرستان بین طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار دارد. نیشابور از شمال به کوه‌های بینالود، از شرق به مشهد، از جنوب به کاشمر و از غرب به سبزوار محدود می‌شود.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- روستاها و دهستان‌های منطقه مورد مطالعه

۴- یافته‌ها و تحلیل داده

عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری سیلاب

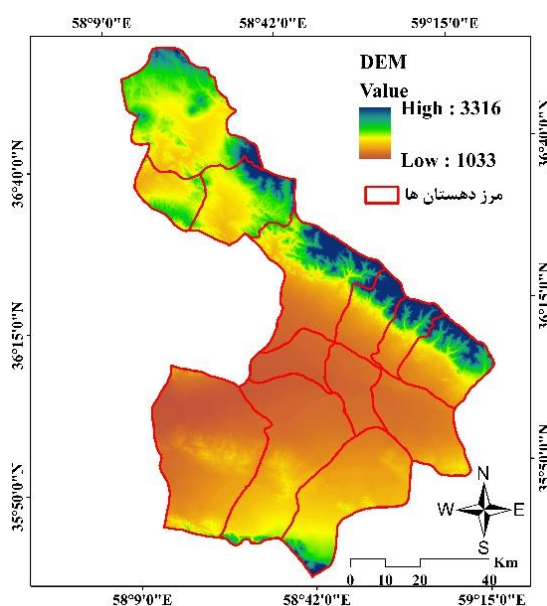
داده‌های موجود در بررسی عوامل تأثیرگذار در سیلاب به مناطق مورد مطالعه بستگی دارد و معمولاً پارامترهای مؤثر حساسیت به سیل شناسایی می‌شوند شامل: ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از رودخانه، کاربری زمین، سنگ‌شناسی و داده‌های بارندگی و غیره است. در این قسمت عوامل احتمالی وضعیت سیل به طور مختصر توضیح داده شده است. در این قسمت به بررسی هر کدام از عوامل تأثیرگذار در سیلاب و بررسی شده در این تحقیق خواهیم پرداخت.

تأثیر ارتفاع بر وقوع سیلاب در روستاهای شهرستان نیشابور

ارتفاع به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین عوامل توپوگرافی، نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی پراکنش روستاها و وقوع سیلاب در شهرستان نیشابور ایفا می‌کند. محدوده ارتفاعی منطقه از ۱۰۳۳ متر در دشت‌های جنوبی تا ۳۳۱۶ متر در ارتفاعات شمالی (دامنه‌های بینالود) متغیر است. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۱۲ درصد در ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر، ۳۵ درصد بین ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، ۳۸ درصد بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر و ۱۵ درصد در ارتفاعات زیر ۱۵۰۰ متر قرار دارند. بیشترین تراکم روستایی در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر مشاهده می‌شود که در حفاصل دامنه‌ها و دشت واقع شده است.

الگوی ارتفاعی و مدیریت سیلاب در نیشابور

بررسی سیلاب‌های گذشته نشان می‌دهد روستاهای واقع در ارتفاعات ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بیشترین پتانسیل را برای وقوع سیلاب‌های با شدت متوسط دارند، درحالی‌که ۲۰ درصد روستاهای واقع در ارتفاعات زیر ۱۵۰۰ متر (عمدتاً در مرکز و جنوب شهرستان) به دلیل تجمع رواناب مناطق بالادست و ظرفیت محدود زهکشی طبیعی، مستعد سیلاب‌های با دامنه گسترده هستند. در سیلاب سال ۱۳۹۷ نیشابور، بیش از ۷۰ درصد خسارات در مناطقی با ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر رخ داده که عمده‌تاً شامل روستاهای این طبقه ارتفاعی بوده است.



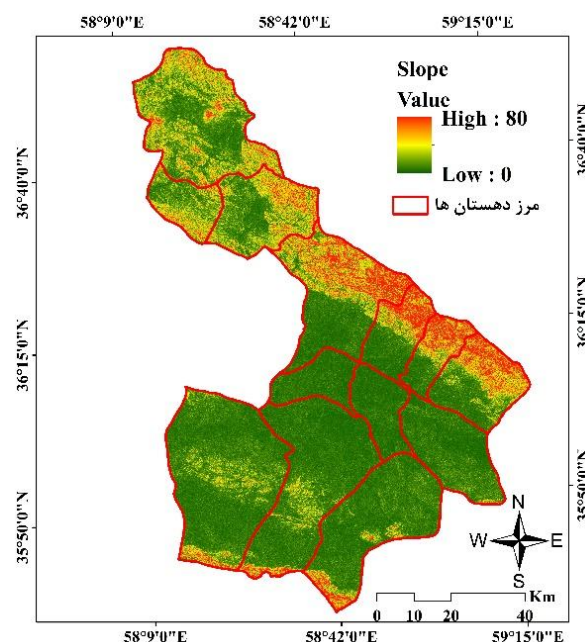
شکل ۳- طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

تأثیر شیب بر وقوع سیلاب در روستاهای شهرستان نیشابور

شیب زمین به‌عنوان یکی از پارامترهای کلیدی در هیدرولوژی حوزه، نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی پراکنش روستاها و تشکیل سیلاب در شهرستان نیشابور دارد. محدوده شیب در این منطقه از بیش از ۶۰ درصد در دامنه‌های شمالی (ارتفاعات بینالود) تا کمتر از ۲ درصد در دشت مرکزی متغیر است. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۱۰ درصد در مناطق با شیب بیش از ۳۰ درصد، ۲۵ درصد در طبقه شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد، ۴۰ درصد در طبقه شیب ۵ تا ۱۵ درصد و ۲۵ درصد در مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد قرار دارند. بیشترین تراکم روستایی در طبقه شیب ۵ تا ۱۵ درصد مشاهده می‌شود که عمدتاً در دامنه‌های پایکوهی و حاشیه دشت واقع شده است.

تحلیل رابطه شیب و الگوی سیل‌خیزی در نیشابور

مناطق با شیب تند (بیش از ۳۰ درصد) در شمال شهرستان، با ایجاد زمان تمرکز کوتاه و تولید رواناب سطحی سریع، به‌عنوان مناطق مولد سیلاب عمل می‌کنند. مطالعات میدانی نشان می‌دهد طبقات شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد بیشترین سهم را در تشکیل سیلاب‌های ناگهانی دارند، چرا که این مناطق هم از نظر تولید رواناب و هم از نظر فرسایش‌پذیری در وضعیت بحرانی قرار دارند و حدود ۲۵ درصد روستاهای شهرستان در این طبقه مستقر هستند. در مقابل، مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد (شامل ۲۵ درصد روستاها) اگرچه سهم کمتری در تولید رواناب دارند، اما به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک در اثر توسعه شهری و کشاورزی، به مناطق تجمع سیلاب تبدیل شده‌اند. بررسی سیلاب سال ۱۳۹۷ نشان داد بیش از ۶۵ درصد از نقاط شروع سیلاب در مناطق با شیب ۲۰ تا ۳۵ درصد واقع شده بودند.



شکل ۴- شیب منطقه مورد مطالعه

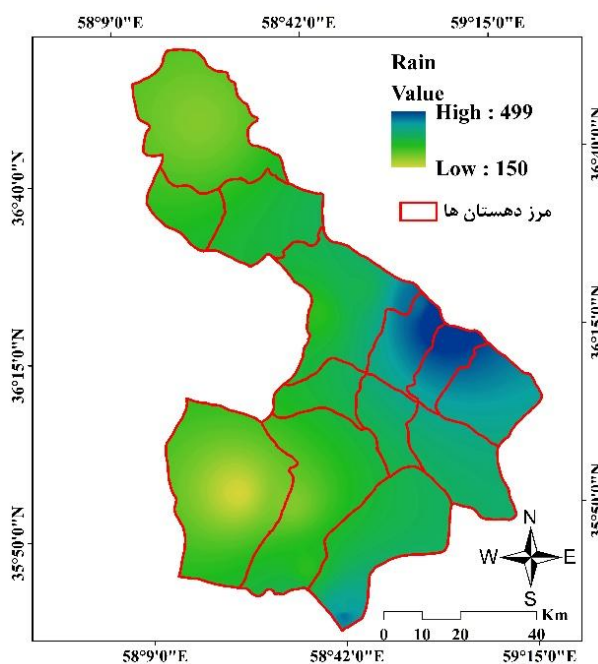
نقش بارش در سیل‌خیزی روستاهای شهرستان نیشابور

بارش به‌عنوان عامل محرک اصلی سیلاب‌ها در شهرستان نیشابور، دارای ویژگی‌های متمایزی است که سیلاب‌های منطقه را شکل می‌دهد. میانگین بارش سالانه در این شهرستان از حدود ۲۵۰ میلی‌متر در دشت مرکزی تا بیش از ۴۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمالی متغیر است. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۲۵ درصد در

مناطق با بارش بیش از ۳۵۰ میلی‌متر (عمدتاً در دامنه‌های شمالی)، ۳۰ درصد در طبقه بارش ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر، ۲۵ درصد در طبقه ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و ۲۰ درصد در مناطق با بارش کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر (عمدتاً در دشت مرکزی و جنوب) قرار دارند. بیشترین تراکم روستایی در طبقه بارش ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود.

تحلیل فضایی-زمانی بارش‌های سیل‌زا

در شهرستان نیشابور، دو الگوی بارشی متمایز دیده می‌شود: بارش‌های فروردین‌ماه که عموماً پایدار و طولانی‌مدت هستند، و بارش‌های تابستانه که غالباً کوتاه‌مدت اما با شدت بسیار بالا رخ می‌دهند. بارش‌های با شدت بیش از ۳۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت (به‌ویژه در مدت کمتر از ۶ ساعت) بیشترین پتانسیل را برای ایجاد سیلاب‌های ناگهانی در منطقه دارند. بررسی سیلاب سال ۱۳۹۷ نشان داد این رویداد در پی بارشی با شدت ۴۵ میلی‌متر در مدت ۴ ساعت رخ داده است. تمرکز ۷۰ درصد بارش سالانه در فصول پاییز و زمستان، همراه با کاهش نفوذپذیری خاک در اثر فعالیت‌های انسانی، خطر سیلاب‌های ناگهانی را در منطقه افزایش داده است. داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک نشان می‌دهد که در پنج سال اخیر، فراوانی بارش‌های سیل‌زا با دوره بازگشت کمتر از ۱۰ سال به طور محسوسی افزایش یافته است.

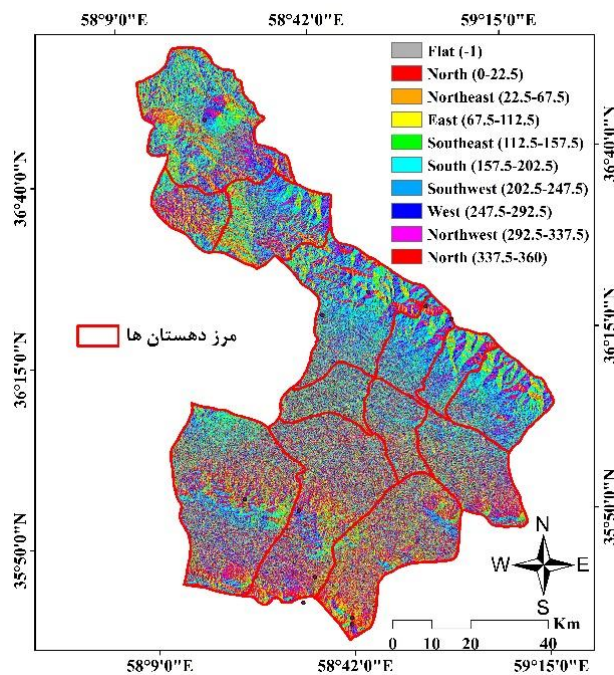


شکل ۵- میزان بارندگی منطقه مورد مطالعه

تأثیر جهت شیب بر سیل‌خیزی در روستاهای شهرستان نیشابور

جهت شیب (Aspect) به‌عنوان یکی از پارامترهای توپوگرافیک مؤثر، نقش مهمی در توزیع مکانی روستاها و سیلاب‌ها در شهرستان نیشابور ایفا می‌کند. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۲۵ درصد در دامنه‌های شمالی و شمال شرقی، ۲۰ درصد در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی، ۳۰ درصد در دامنه‌های شرقی و غربی و ۲۵ درصد نیز در جهات دیگر (شمال غربی، جنوب شرقی و مناطق مسطح) قرار دارند. بیشترین تراکم روستایی در دامنه‌های شرقی و غربی مشاهده می‌شود، درحالی‌که کمترین تراکم مربوط به دامنه‌های شمالی است که عمده‌تاً مرتفع و صعب‌العبور هستند. شیب‌های روبه‌شمال و شمال شرقی به دلیل دریافت کمتر تابش خورشید و در نتیجه حفظ رطوبت بیشتر خاک، معمولاً

نفوذپذیری کمتری داشته و در برابر بارش‌های شدید، رواناب بیشتری تولید می‌کنند. مطالعات میدانی نشان می‌دهد که در سیلاب‌های اخیر نیشابور، شیب‌های شمالی-شمال شرقی با میانگین تولید رواناب ۳۵ درصد بیشتر از سایر جهات، سهم عمده‌ای در تغذیه مسیل‌های اصلی داشته‌اند. در مقابل، شیب‌های رو به جنوب با وجود دریافت تابش بیشتر و تبخیر بالاتر، به دلیل پوشش گیاهی تنک‌تر و خاک‌های کم‌عمق، در هنگام بارش‌های شدید نیز مستعد ایجاد رواناب سطحی هستند. الگوی خاص بارش‌های سیل‌زا در منطقه که عمدتاً از سمت شمال غرب وارد می‌شوند، همراه با تأثیر جهت شیب بر رطوبت خاک و نفوذپذیری، موجب شده است که دامنه‌های شمالی و شمال شرقی به‌عنوان بحرانی‌ترین جهات از نظر تولید سیلاب شناسایی شوند.

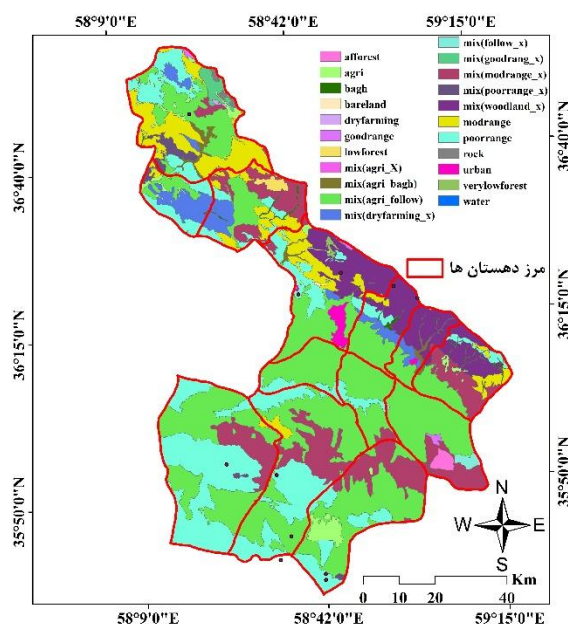


شکل ۶- جهت شیب منطقه مورد مطالعه

نقش کاربری اراضی در سیل‌خیزی روستاهای شهرستان نیشابور

کاربری اراضی به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در هیدرولوژی حوزه، نقش مهمی در الگوی پراکنش روستاها و تولید رواناب در شهرستان نیشابور دارد. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۳۰ درصد در مناطق با کاربری کشاورزی آبی و باغات (عمدتاً در دشت مرکزی و حاشیه رودخانه‌ها)، ۲۵ درصد در مناطق با کاربری کشاورزی دیم و مراتع متوسط، ۲۰ درصد در مناطق با کاربری مراتع فقیر و اراضی بایر، ۱۵ درصد در مناطق با کاربری شهری و روستایی متراکم و ۱۰ درصد در مناطق با کاربری جنگلی و مراتع غنی (عمدتاً در ارتفاعات شمالی) مستقر هستند. بیشترین تراکم روستایی در کاربری کشاورزی آبی و باغات مشاهده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد مناطق با کاربری شهری و کشاورزی آبی در دشت مرکزی، به دلیل تراکم بالای خاک و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی آب، تا ۶۰ درصد بیشتر از اراضی طبیعی مستعد تولید رواناب هستند. این در حالی است که مناطق با پوشش مرتعی غنی و جنگلی در ارتفاعات شمالی (شامل ۱۰ درصد روستاها)، با وجود شیب‌های تند، به دلیل نفوذپذیری بالاتر و پوشش گیاهی مناسب، نقش کمتری در تشدید سیلاب‌ها داشته و حتی به‌عنوان مناطق جذب و ذخیره آب عمل می‌کنند. اراضی کشاورزی دیم و مراتع فقیر (شامل ۴۵ درصد روستاها) به دلیل پوشش گیاهی تنک و خاک‌های سطحی شکننده، در میانه این طیف قرار دارند و در بارش‌های شدید،

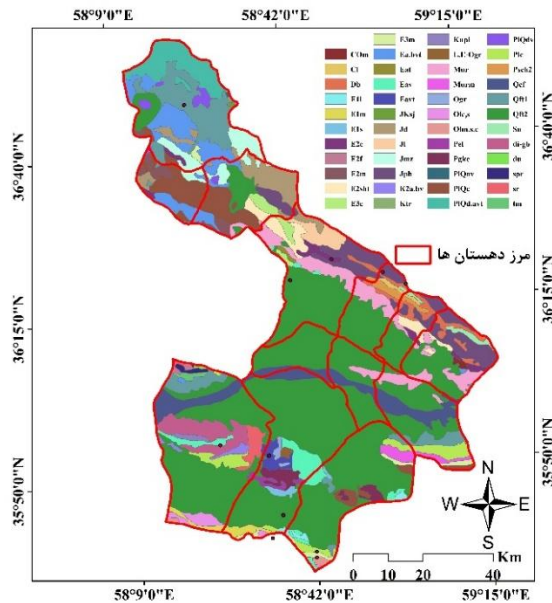
رواناب قابل توجهی تولید می‌کنند. توسعه بدون برنامه‌ریزی کاربری اراضی در حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های اصلی، یکی از مهم‌ترین عوامل تشدید خسارات سیلاب‌های اخیر در این شهرستان بوده است.



شکل ۷- کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

تأثیر زمین‌شناسی بر پتانسیل سیل‌خیزی منطقه

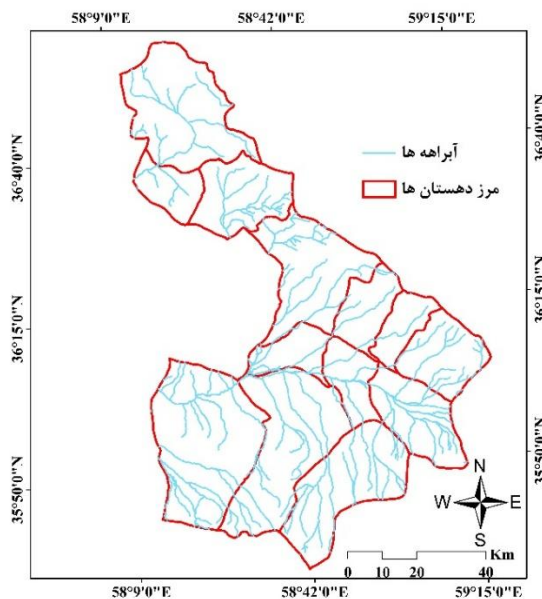
ویژگی‌های زمین‌شناسی شهرستان نیشابور نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و پراکنش روستاهای این منطقه دارد. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۲۰ درصد بر روی سازندهای سست و آبرفتی (عمدتاً در حاشیه رودخانه نیشابور و دشت مرکزی)، ۳۵ درصد بر روی سازندهای نیمه مقاوم (مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ)، ۳۰ درصد بر روی سازندهای مقاوم و نیمه مقاوم (کربناته و آهکی) و ۱۵ درصد نیز در مناطق با سازندهای ویژه (گسل‌ها، پهنه‌های برشی و مناطق لغزشی) مستقر هستند. بیشترین تراکم روستایی بر روی سازندهای نیمه مقاوم مشاهده می‌شود که عمدتاً در دامنه‌های جنوبی و دشت حاشیه‌ای واقع شده‌اند. سازندهای سست و آبرفتی در حاشیه رودخانه نیشابور (شامل ۲۰ درصد روستاها)، به دلیل فرسایش‌پذیری بالا و نفوذپذیری متغیر، سالانه موجب گسترش بستر رودخانه و افزایش آسیب‌پذیری مناطق مسکونی مجاور در برابر سیلاب می‌شوند. از سوی دیگر، وجود گسل‌های فعال در منطقه نه تنها خطر زمین‌لغزش را افزایش داده، بلکه با تغییر مورفولوژی آبراهه‌ها، الگوی جریان سیلاب را در برخی مناطق تحت‌تأثیر قرار داده است. روستاهای مستقر بر روی سازندهای مقاوم (۳۰ درصد روستاها) به دلیل نفوذپذیری کمتر و تولید رواناب سریع‌تر، در بارش‌های شدید با خطر سیلاب‌های ناگهانی مواجه هستند، در حالی که روستاهای واقع بر روی سازندهای نیمه مقاوم به دلیل ظرفیت ذخیره آب بیشتر، آسیب‌پذیری متوسطی نشان می‌دهند. این ویژگی‌های زمین‌شناسی به همراه فعالیت‌های تکتونیک، شرایط پیچیده‌ای را برای مدیریت خطر سیلاب در شهرستان نیشابور ایجاد کرده است.



شکل ۸- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

تأثیر فاصله از آبراهه‌ها بر پتانسیل سیل‌خیزی در روستاهای شهرستان نیشابور

فاصله از آبراهه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در ارزیابی خطر سیلاب در شهرستان نیشابور محسوب می‌شود. از مجموع ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان، حدود ۱۵ درصد در فاصله کمتر از ۲۰۰ متری آبراهه‌های اصلی، ۲۵ درصد در فاصله ۲۰۰ تا ۵۰۰ متری، ۳۵ درصد در فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری و ۲۵ درصد در فاصله بیش از ۱۰۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار دارند. مطالعات نشان می‌دهد بیش از ۸۰ درصد خسارات سیلاب‌های ثبت‌شده در این منطقه در محدوده ۵۰۰ متری از آبراهه‌های اصلی رخ داده است. بررسی سیلاب سال ۱۳۹۷ نشان داد مناطق واقع در فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از آبراهه‌های اصلی (شامل ۱۵ درصد روستاها) با بیش از ۳ متر عمق آب‌گرفتگی مواجه شدند، درحالی‌که این مقدار در فاصله ۵۰۰ متری به کمتر از ۵۰ سانتی‌متر کاهش یافت. رابطه معکوسی بین فاصله از آبراهه و خطر سیلاب وجود دارد، به‌طوری‌که با کاهش فاصله از مسیل‌ها، هم عمق آب و هم سرعت جریان به طور محسوسی افزایش می‌یابد؛ این الگو به‌وضوح اهمیت رعایت حریم ایمن از آبراهه‌ها را در برنامه‌ریزی‌های توسعه روستایی نشان می‌دهد.



شکل ۹- فاصله از آبراهه منطقه مورد مطالعه

تحلیل جامع پهنه‌بندی خطر سیلاب در روستاهای شهرستان نیشابور

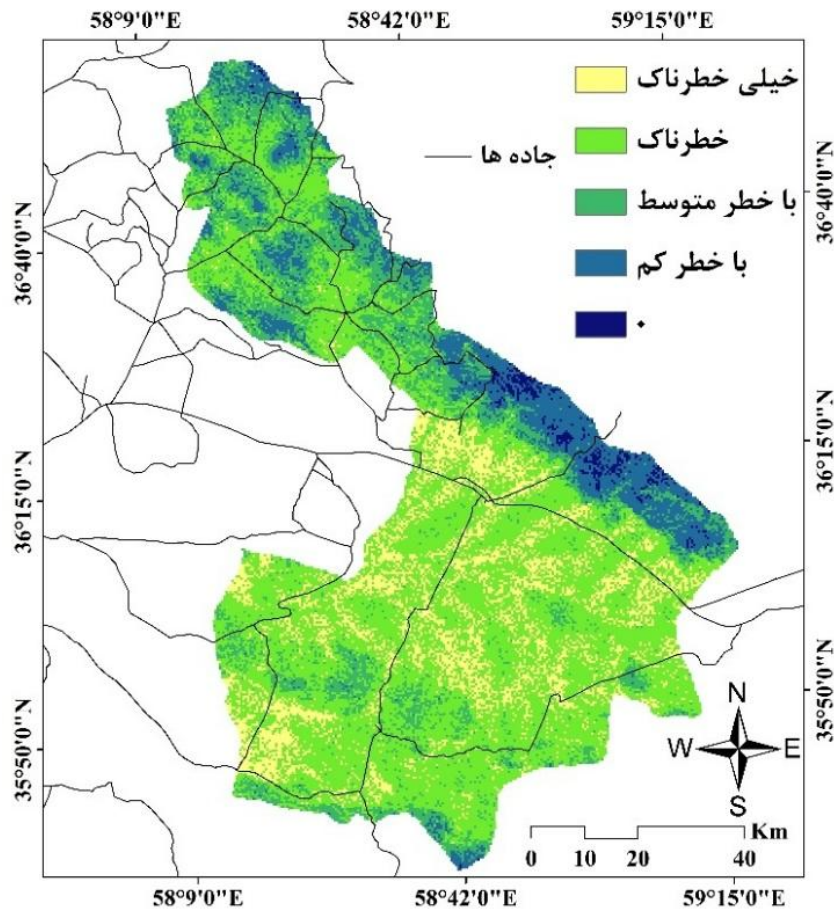
با بهره‌گیری از قابلیت‌های پیشرفته نرم‌افزار ArcMap 10.8 و اعمال الگوریتم Gradient Boosting، پهنه‌بندی خطر سیلاب در پنج کلاس متمایز انجام پذیرفت: ۱- مناطق ایمن (مقدار احتمال ۰)، ۲- مناطق با خطر نسبی (۰.۲-۰.۴)، ۳- مناطق با خطر متوسط (۰.۴-۰.۶)، ۴- مناطق پرخطر (۰.۶-۰.۸)، ۵- مناطق بحرانی (۰.۸-۱). نتایج حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تحلیل‌های مکانی (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که کانون‌های اصلی خطر سیلاب عمدتاً در امتداد محور شرقی-غربی حوزه و در مناطق کم‌ارتفاع متمرکز شده‌اند. این مناطق که عمدتاً شامل دشت‌های رسوبی و حاشیه رودخانه‌های اصلی هستند، به دلیل ترکیب عوامل خطرزای متعدد، بالاترین پتانسیل را برای وقوع سیلاب‌های مخرب دارا هستند.

شناسایی عوامل کلیدی مؤثر در توزیع فضایی خطر سیلاب

بررسی دقیق الگوی پراکنش ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان نیشابور نشان می‌دهد که روستاهای واقع در مناطق بحرانی عمدتاً دارای ویژگی‌هایی نظیر موقعیت توپوگرافیک در ارتفاعات کمتر از ۱۲۵۰ متر (شامل حدود ۱۲ درصد روستاها)، شیب‌های ملایم کمتر از ۵ درصد (شامل حدود ۲۵ درصد روستاها)، تراکم پوشش گیاهی پایین کمتر از ۲۰ درصد (شامل حدود ۳۵ درصد روستاها)، نزدیکی به شبکه آبراهه‌های اصلی با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر (شامل ۱۵ درصد روستاها) و بافت خاک ریزدانه با نفوذپذیری کم هستند. در مقابل، روستاهای با کمترین خطر سیلاب در ارتفاعات بالای ۱۸۰۰ متر (حدود ۳۰ درصد روستاها)، شیب‌های تند بیش از ۲۵ درصد (حدود ۱۰ درصد روستاها)، پوشش گیاهی متراکم بیش از ۷۰ درصد (حدود ۱۵ درصد روستاها)، فاصله بیش از ۸۰۰ متر از آبراهه‌ها (حدود ۲۵ درصد روستاها) و بافت خاک درشت‌دانه با نفوذپذیری بالا قرار دارند که عمدتاً در دامنه‌های شمالی و ارتفاعات بینالود واقع شده‌اند.

تحلیل حساسیت‌سنجی انجام شده بر روی داده‌های ۴۰۰ روستای منطقه نشان داد که شاخص‌های ارتفاع، فاصله از آبراهه و شدت بارش به ترتیب با سهم ۳۵ درصد، ۲۸ درصد و ۲۲ درصد بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی خطر سیلاب در سطح روستاها داشته‌اند. نکته قابل توجه، تأثیر غیرخطی ترکیب این عوامل است، به طوری که روستاهای با ارتفاع کم که هم‌زمان در مجاورت آبراهه‌ها قرار دارند و پوشش گیاهی ضعیفی دارند، تا ۷ برابر بیشتر از سایر روستاها مستعد آبگرفتگی هستند. از مجموع ۴۰۰ روستای شهرستان نیشابور، حدود ۵۰ روستا (۱۲.۵ درصد) هم‌زمان دارای هر سه عامل بحرانی (ارتفاع کمتر از ۱۲۵۰ متر، فاصله کمتر از ۲۰۰ متر از آبراهه و پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد) هستند. این روستاها که عمدتاً در دشت مرکزی و حاشیه رودخانه نیشابور مستقر هستند، باید در اولویت اول اقدامات مدیریتی و سازه‌های کنترل سیلاب قرار گیرند.

نتایج ارزیابی پهنه‌بندی خطر سیلاب نشان می‌دهد که از میان ۴۰۰ روستای منطقه، حدود ۸۰ روستا (۲۰ درصد) در کلاس خطر "بحرانی"، ۱۴۰ روستا (۳۵ درصد) در کلاس "پرخطر"، ۷۲ روستا (۱۸ درصد) در کلاس "متوسط‌خطر"، ۶۸ روستا (۱۷ درصد) در کلاس "کم‌خطر" و ۴۰ روستا (۱۰ درصد) در کلاس "ایمن" قرار دارند. این یافته‌ها اهمیت توجه هم‌زمان به عوامل طبیعی و انسانی را در مدیریت جامع خطر سیلاب در سطح روستاهای شهرستان نیشابور برجسته می‌سازد. باتوجه‌به اینکه ۵۵ درصد روستاهای منطقه (۲۲۰ روستا) در کلاس‌های پرخطر و بحرانی قرار دارند، لزوم بازنگری در حریم ایمن ساخت‌وسازها، طراحی سیستم‌های هشدار سریع و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی برای این روستاها ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱۰- نقشه ارزیابی خطر سیل توسط مدل RF

تجزیه و تحلیل درجه اهمیت شاخص

الگوریتم گردیان بوستینگ این قابلیت را دارد که با استفاده از شاخص جینی، میزان تأثیر هر یک از شاخص‌های ریسک را مشخص کند. براین اساس، اهمیت نسبی هر شاخص به صورت درصدی محاسبه می‌شود و این اطلاعات به کاربران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا راهکارهای مناسبی برای کاهش خسارات ناشی از ریسک ارائه دهند. در این مطالعه، مقادیر تأثیر هر شاخص با استفاده از نرم‌افزار متن‌باز پایتون محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۲) نمایش داده شده است. بر اساس این یافته‌ها، شاخص‌های توپوگرافی و بارش بیشترین سهم را در مدل داشته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت بالای این عوامل در ارزیابی ریسک است.

جدول ۲- ارزش و اهمیت هر کدام از شاخص‌ها در مدل گردیان بوستینگ

ردیف	شاخص	درجه اهمیت
۱	توپوگرافی	۰/۷۷
۲	شیب	۰/۳۵
۳	بارش	۰/۶۱
۴	جهت شیب	۰/۰۱
۵	زمین‌شناسی	۰/۰۴۵
۶	کاربری اراضی	۰/۴۵
۷	فاصله از آبراهه	۰/۴۱

ارزیابی عملکرد

در این مطالعه، عملکرد مدل با استفاده از معیارهای آماری مختلف مانند ROC، KC، OA، MAE، RMSE و AUC مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول (۳)، مشاهده می‌شود، طبق این نتایج خروجی و نتایج دارای دقت خوبی بود است، همان‌طور که مشاهده می‌شود دارای ضریب کاپا ۰/۹۱ و خطای مربعات ۰/۱۹ بوده است. همه‌ی این نتایج حاکی از دقت خوب خروجی کار است.

جدول ۳- دقت در مدل RF

میزان دقت	عامل ارزیابی	ردیف
۰/۹۱	kappa	۱
۰/۰۹	MAE	۲
۰/۱۹	RMSE	۳

۵- بحث و فرجام

سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی، تهدیدی جدی برای ۴۰۰ روستای دارای سکنه شهرستان نیشابور محسوب می‌شود. این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوریتم‌های گرادیان بوستینگ، به ارزیابی جامع خطر سیلاب در سطح این روستاها پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که عوامل توپوگرافی (ارتفاع و شیب)، بارش‌های شدید و فاصله از آبراه‌ها بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی مناطق روستایی داشته‌اند، به‌طوری که بر اساس تحلیل حساسیت‌سنجی، شاخص ارتفاع با ۳۵ درصد، فاصله از آبراه‌ها با ۲۸ درصد و شدت بارش با ۲۲ درصد بیشترین سهم را در پیش‌بینی خطر سیلاب در بین روستاها دارا هستند. از مجموع ۴۰۰ روستا، حدود ۱۴۰ روستا (۳۵ درصد) در ارتفاعات کمتر از ۱۲۵۰ متر، ۶۰ روستا (۱۵ درصد) در فاصله کمتر از ۲۰۰ متری آبراه‌ها و حدود ۵۰ روستا (۱۲.۵ درصد) هم‌زمان دارای هر سه عامل بحرانی هستند. همچنین، تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری و روستایی بدون برنامه‌ریزی مناسب در حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های اصلی، خطر سیلاب را در بسیاری از روستاهای دشت مرکزی به شدت تشدید کرده است. بر اساس پهنه‌بندی خطر سیلاب انجام شده، از میان ۴۰۰ روستای شهرستان، حدود ۸۰ روستا (۲۰ درصد) در کلاس خطر "بحرانی"، ۱۴۰ روستا (۳۵ درصد) در کلاس "پرخطر"، ۷۲ روستا (۱۸ درصد) در کلاس "متوسط‌خطر"، ۶۸ روستا (۱۷ درصد) در کلاس "کم‌خطر" و ۴۰ روستا (۱۰ درصد) در کلاس "ایمن" قرار دارند. روستاهای واقع در کلاس بحرانی و پرخطر (مجموعاً ۲۲۰ روستا، معادل ۵۵ درصد روستاهای شهرستان) عمدتاً شامل مناطق کم‌ارتفاع دشت مرکزی، روستاهای حاشیه رودخانه نیشابور و مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف هستند که بیشترین خسارات سیلاب سال ۱۳۹۷ نیز در همین روستاها ثبت شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که روستاهای واقع در فاصله کمتر از ۲۰۰ متر آبراه‌ها با بیش از ۳ متر عمق آبگرفتگی مواجه شده‌اند، درحالی‌که روستاهای دارای فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر از آبراه‌ها، خسارت‌های بسیار کمتری متحمل شده‌اند.

نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران شهری و روستایی کمک کند تا با تعیین حریم ایمن رودخانه‌ها (حداقل ۵۰۰ متر برای روستاهای جدید و بازسازی روستاهای آسیب‌دیده)، بهبود سیستم‌های زهکشی در ۱۴۰ روستای واقع در کلاس پرخطر، مدیریت کاربری اراضی در حریم ۸۰ روستای بحرانی و اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی برای ۵۰ روستایی که هم‌زمان دارای سه عامل بحرانی هستند، خطر سیلاب را به طور مؤثر کاهش دهند. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که تلفیق روش‌های یادگیری ماشین (الگوریتم‌های گرادیان بوستینگ) و GIS می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در پیش‌بینی و مدیریت خطر سیلاب در سطح روستاهای شهرستان نیشابور مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به تغییرات اقلیمی

و افزایش بارش‌های شدید در سال‌های اخیر که منجر به افزایش ۲۰ درصدی رویدادهای بارشی با شدت بیش از ۲۵ میلی‌متر در ساعت شده است، نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت و اجرای راهکارهای پایدار برای کاهش خسارات سیلاب در ۲۲۰ روستای واقع در کلاس‌های پرخطر و بحرانی شهرستان نیشابور بیش از پیش احساس می‌شود.

این تحقیق از لحاظ شناسایی عوامل کلیدی مؤثر (توپوگرافی و بارش) به طور مشخص با تحقیقات حجازی و همکاران (۱۴۰۳) و ایان (۲۰۲۱) همسوست. از نظر اعتبارسنجی و دقت بالای مدل، این نتایج با تحقیق رضایی‌مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۳) همسو ولی با عملکرد برتر همراه است. از منظر هدف کاربردی و مدیریت بحران در منطقه مطالعه، گزارش مرکز تحقیقات نیشابور (۱۴۰۳) نزدیک‌ترین همسویی را با کار شما نشان می‌دهد.

با توجه به استقرار حدود ۶۵ درصد از سکونتگاه‌های کنونی در مناطق پرخطر و بحرانی سیلاب، بازنگری اساسی در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای امری حیاتی است. روش نوین ارائه شده در این مطالعه با بهره‌گیری از فناوری‌های GIS و یادگیری ماشین، امکان شناسایی دقیق، سریع و به‌روزرسانی دوره‌ای پهنه‌های خطر را فراهم می‌آورد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود با تهیه نقشه‌های تفصیلی، محدودیت‌های قانونی سخت‌گیرانه‌ای برای ساخت‌وساز اعمال گردد؛ به‌گونه‌ای که توسعه در مناطق بحرانی کاملاً ممنوع شده و در مناطق پرخطر منوط به رعایت دقیق کدهای مهندسی و مطالعات هیدرولوژی باشد. هم‌زمان، اجرای اقدامات ساختاری و زیست‌محیطی نظیر بازنگری طرح‌های هادی، مدیریت و لایروبی حریم رودخانه‌ها، احداث سازه‌های کنترل سیلاب، بهبود زهکشی و احیای پوشش گیاهی و کشاورزی پایدار می‌تواند نقش مهمی در کاهش خسارات ایفا کند.

در بُعد اجتماعی و مدیریت بحران، اولویت‌بندی سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر برای اجرای پروژه‌های مقاوم‌سازی و برنامه‌ریزی برای جابه‌جایی تدریجی ساکنان مناطق با خطر بحرانی به مکان‌های امن، باید با مشارکت کامل جوامع محلی در دستور کار قرار گیرد. ارتقای تاب‌آوری جامعه نیازمند توانمندسازی ساکنان از طریق آموزش‌های عمومی، استقرار سیستم‌های هشدار سریع محلی و تشکیل گروه‌های داوطلب است. در نهایت، پایداری و اثربخشی این راهکارها در گرو پایش مستمر تغییرات محیطی و اقلیمی، ادغام داده‌های مکانی-زمانی و به‌روزرسانی دوره‌ای مدل‌ها و نقشه‌های خطر است تا بتوان تصمیمات مدیریتی را همواره مبتنی بر واقعیات روز اتخاذ نمود.

۶- منابع

حجازی، اسدالله، نگهبان، سعید، موسوی، سیده معصومه، امین زاده، محمدهادی. (۱۴۰۳). بررسی و پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز شهری با استفاده از مدل‌های فازی ویکور و روش خطی وزنی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایذه - خوزستان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۲)، ۵۱-۷۰. doi: 10.22034/gmpj.2024.452640.1499

حساس، حمید، عزیزبان، ابوالفضل، قاسمی، محسن. (۱۳۹۹). ارائه یک مدل ساده برای تعیین مناطق در خطر سیل. مخاطرات محیط طبیعی، ۲۵(۸۱)، ۱۰۰-۱۱۰. doi: 10.2111/jneh.2020.31011.1549

خالدی، شهریار، فرهمند، قاسم، علی بخشی، افسانه. (۱۴۰۰). تحلیل و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی (سیل و زلزله) ژئومورفولوژیکی استان کرمانشاه. مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۲(۱)، ۱۷-۳۶. https://www.srds.ir/article_132471.html

رضایی مقدم، محمدحسین، رحیم‌پور، توحید. (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۷. doi: 10.22034/gmpj.2024.429929.1473

زارعی، سعید، کشاورز، سعیده. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق خشک با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY در شهرستان دشتی، جنوب ایران. خشک بوم، ۱۴(۱)، ۴۷-۶۰. doi: 10.29252/aridbiom.2024.21525.2011

عابدینی، موسی، فعال نذیری، مهدی، پیروزی، ال‌ناز. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چند معیاره آراس و هیدروگراف واحد (مطالعه‌ی موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۵)، ۱۱۵-۱۳۸. https://jneh.usb.ac.ir/article_7101.html

عزمی، آئیژ، نوری، مجتبی. (۱۳۹۶). نقش سرمایه اجتماعی در مدیریت مخاطرات طبیعی در سکونتگاه‌های روستایی (مطالعه موردی: بخش ماهیدشت کرمانشاه). *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۷(۲۶)، ۷۷-۸۹. https://www.jgeoqeshm.ir/article_49635.html

مختاری، داود. (۱۳۸۵). جایگاه ژئومورفولوژی در ارزیابی بلایای طبیعی و مقابله با آنها در ایران. *جغرافیایی سرزمین*، ۳(۱)، ۵۳-۶۷. <https://ensani.ir/fa/article/487485>

مرکز تحقیقات آب و محیط زیست نیشابور. (۱۴۰۳). *گزارش جامع سیلاب‌های شهرستان نیشابور و راهکارهای کاهش خسارت*. انتشارات دانشگاه نیشابور.

References

- Abedini, M., Faal Naziri, M., & Pirouzi, A. (2023). Flood risk assessment and zoning using multi-criteria ARAS technique and single hydrograph (Case study: Upstream basin of Soltan Meshkinshahr Bridge hydrometric station). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 115–138. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863> [In Persian]
- Ahern, M., Kovats, R. S., Wilkinson, P., Few, R., & Matthies, F. (2005). Global health impacts of floods: Epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, 27(1), 36–46. <https://doi.org/10.1093/epirev/mxi004>
- Ayan, S., Fleischmann, J., Paulo, F., Brêdaa, C., Rudorff, R., Cauduro, D., Paivaa, W., Collischonna, F., Papac, M., & Moreira, R. (2021). Earth observation for flood applications: Progress and perspectives. In *Earth observation* (Chap. 4, *River flood modeling and remote sensing across scales*, pp. 61–103).
- Azmi, A., & Nouri, M. (2017). The role of social capital in the management of natural hazards in rural settlements (Case study: Kermanshah Mahidasht). *Geography (Regional Planning)*, 7(26), 77–89. https://www.jgeoqeshm.ir/article_49635.html [In Persian]
- Boughton, G. (1998). The community: Central to emergency risk management. *Australian Journal of Emergency Management*.
- Brendle, A. M. (2002). *A vulnerability assessment of the Spring Creek watershed of Centre County, Pennsylvania* (Master's thesis, Pennsylvania State University, College of Earth and Mineral Sciences, Department of Geography).
- Davies, T., Davies, R. H., & Alistair, J. (2018). Increasing communities' resilience to disasters: An impact-based approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 743–749. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.026>
- Davis, I. (2008). Community disaster risk management (CDRM). In *3rd International Conference on Integrated Natural Disaster Management*.
- DFID. (2005). *Natural disaster and disaster risk reduction measures: A desk review of costs and benefits*. Environmental Resources Management (ERM); Government of the United Kingdom.
- Doocy, S., Daniels, A., Packer, C., Dick, A., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of earthquakes: A historical review of events 1980–2009 and systematic literature review. *PLOS Currents*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1371/currents.dis.67bd14fe457f1db0b5433a8ee20fb833>
- Farhan, Y., & Ayed, A. (2017). Assessment of flash-flood hazard in arid watersheds of Jordan. *Journal of Geographic Information System*, 9(6), 710–720. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.96045>



- Feng, L. H., & Lu, J. (2010). The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 2974–2977. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.037>
- Freeman, P., Martin, L., Bayer, J., Mechler, R., Saldana-Zorrilla, S., Warner, K., & Pflug, G. (2002). *National system for comprehensive disaster management, Phase 2: Financing reconstruction*. German Remote Sensing Data Center (DFD).
- Hassas, H., Azizian, A., & Ghasemi, M. (2020). A simple model for determining flood hazard areas. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(25), 81–100. <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.31011.1549> [In Persian]
- Hejazi, A., Negahban, S., Mousavi, M., & Aminzadeh, M. (2024). Assessment and mapping of urban watershed flood by using fuzzy VIKOR and weighted linear combine models (Case study: Catchment Izeh–Khuzestan). *Quantitative Geomorphological Research*, 13(2), 51–70. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.452640.1499> [In Persian]
- Hewitt, K. (1997). *Interpretations of calamity: From the viewpoint of human ecology*. Allen & Unwin.
- Jahangir, M. H., Reineh, S. M. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Watershed, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25, Article 100215. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>
- Jigyasu, R. (2002). *Reducing disaster vulnerability through local knowledge and capacity: The case of earthquake-prone rural communities in India and Nepal*. Department of Town and Regional Planning, Trondheim.
- Khaledi, S., Farahmand, G., & Ali Bakhshi, A. (2021). Vulnerability analysis and zoning of natural geomorphological hazards (Flood and earthquake) of Kermanshah province. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies*, 2(1), 17–36. https://www.srds.ir/article_132471.html [In Persian]
- Mokhtari, D. (2006). The role of geomorphology in assessing and dealing with natural disasters in Iran. *Geography of the Land*, 3(1), 53–67. <https://ensani.ir/fa/article/487485> [In Persian]
- Neyshabur Water and Environment Research Center. (2024). *Comprehensive report on floods in Neyshabur city and damage reduction strategies*. Neyshabur University Publications. [In Persian]
- Pascacio, E. D., Argueta, A. O., Mercedes, M., Uzcanga, C., & Marcial, N. R. (2018). Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River, Mexico. *Botanical Sciences*, 96(2), 180–199. <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>
- Rezayi Moghadam, M. H., & Rahimpour, T. (2024). Evaluating flood hazard potential using bivariate statistical analysis method (Case study: Aji Chai Basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 91–107. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.429929.1473> [In Persian]
- Rinat, Y., Marra, F., Zocatelli, D., & Morin, E. (2018). Controls of flash flood peak discharge in Mediterranean basins and the special role of runoff-contributing areas. *Journal of Hydrology*, 565, 846–860. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.055>
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Sowmya, K., John, C., & Shrivasthava, N. (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, 75(2), 1271–1286. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1372-4>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>



- Trim, P. R. J. (2004). An integrative approach to disaster management and planning. *Disaster Prevention and Management*, 13(3), 218–225. <https://doi.org/10.1108/09653560410541812>
- Trondheim, R. J. (2002). *Reducing disaster vulnerability through local knowledge and capacity: The case of earthquake-prone rural communities in India and Nepal* (Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Town and Regional Planning).
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Hovelsrud-Broda, G. K., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Mathiesen, S., Naylor, R., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., Selin, H., & Tyler, N. (2003). Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8080–8085. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231334100>
- UN/ISDR. (2007). *Terminology: Basic terms of disaster risk reduction*. International Strategy for Disaster Reduction.
- UNDP. (1997). *Capacity development* (Technical Advisory Paper No. 2). United Nations Development Programme.
- United Nations Climate. (2015). *The human cost of weather-related disasters 1995–2015*.
- Wisner, B. (2005). Tracking vulnerability: History, use, potential and limitations of a concept. In *SIDA & Stockholm University Research Conference*.
- Yamin, F., Rahman, A., & Huq, S. (2005). Vulnerability, adaptation and climate disasters: A conceptual overview. *IDS Bulletin*, 36(4), 60–75.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, southern Sinai, Egypt using GIS-based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611–623. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
- Zarei, S., & Keshavarz, S. (2024). Flood hazard zoning in dry areas, using AHP-fuzzy model in Dashti region, south Iran. *Journal of Arid Biome*, 14(1), 47–60. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.21525.2011> [In Persian]

